

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра общей физики

Л.В. ШАШКОВА, В.К. ШАШКОВА

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИЖУЩЕЙ СИЛЫ ИСТОЧНИКА ТОКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 7 ПО ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМУ

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических указаний для студентов.

Оренбург 2005

УДК 537.3 (07)
ББК 22.33 я 7
Ш 32

Рецензент:

Доцент Казачкова Ф.А., профессор Манаков Н.А.

Шашкова Л.В., Шашкова В.К.

Ш **Измерение электродвижущей силы источника тока: методические указания к лабораторной работе №7 по электромагнетизму/Л.В.Шашкова., В.К.Шашкова - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. – 10 с.**

Методические указания предназначены студентам технических специальностей дневного, вечернего и заочного отделений для выполнения лабораторной работы № 7 "Измерение электродвижущей силы источника тока"

ББК

©Шашкова Л.В.,
Шашкова В.К., 2005
©ГОУ ОГУ, 2005

Содержание

1 Лабораторная работа № 7. Измерение электродвижущей силы источника тока	4
.....	4
Введение.....	4
Экспериментальная часть.....	10
Контрольные вопросы.....	11
Список использованных источников.....	11

1 Лабораторная работа № 7. Измерение электродвижущей силы источника тока

Цель работы:

- 1 Усвоить физическое содержание понятий сторонняя и электродвижущая сила источника тока.
- 2 Познакомится с принципиальной стороной двух методов измерения ЭДС.
- 3 Измерить электродвижущую силу (ЭДС) нескольких гальванических элементов компенсационным методом.

Введение

Для поддержания постоянного электрического тока в цепи необходимо подключить источник. При этом очевидно, что кулоновские силы не могут поддерживать ток, так как работа этих сил по замкнутому контуру равна нулю, а известно, что когда по цепи течет электрический ток, выделяется тепло. Следовательно, в цепи должны действовать электрические силы некулоновского происхождения, работа которых по замкнутому контуру не равна нулю. Такие силы получили название *сторонних сил*. Сторонние силы приводят в движение заряженные частицы внутри генераторов, гальванических элементов, аккумуляторов и других источников тока. Происхождение сторонних сил может быть различным: в генераторах - это силы со стороны вихревого электрического поля, возникающего при изменении магнитного поля со временем, или сила Лоренца, действующая со стороны магнитного поля на электроны в движущемся проводнике; в гальванических элементах и аккумуляторах - это химические силы и т.д.

Устройство, в котором возникают сторонние силы, называется *источником тока*. Во внешней цепи ток течет от плюса к минусу, во внутренней цепи, то есть в самом источнике от минуса к плюсу. Источники тока характеризуются электродвижущей силой (эдс).

ЭДС, физическая величина, характеризующая действие сторонних (непотенциальных сил) в источниках постоянного или переменного тока; в замкнутом проводящем контуре равна работе этих сил по перемещению единичного положительного заряда вдоль всего контура.

Если через $\vec{E}_{\text{ст}}$ обозначить напряженность поля сторонних сил, то электродвижущая сила ε в замкнутом контуре L равна

$$\varepsilon = \oint_L \vec{E}_{\text{ст}} d\vec{l}$$

где $d\vec{l}$ - элемент длины контура.

Сторонние силы могут действовать и вызывать скачки потенциала не только в источнике тока, но и на отдельных участках цепи. Такие участки называют **неоднородными**. В частности, неоднородным является участок цепи, образованный при соединении проводников из различных металлов. При контакте двух разнородных металлов в месте их контакта возникает скачок потенциала, называемый контактной разностью потенциалов. Появление контактной разности потенциалов обусловлено двумя причинами: различием работы выхода электронов из различных металлов и неоднородностью концентрации носителей зарядов в различных металлах.

Закон Ома для участка цепи в дифференциальной форме имеет вид:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

где \vec{j} - плотность тока; $\sigma = \frac{1}{\rho}$ - его удельная электропроводность; ρ - удельное сопротивление проводника.

Закон Ома при наличии источников ЭДС можно записать в дифференциальной форме, связывающей в каждой точке проводника плотность тока \vec{j} с полной напряженностью электрического поля. Потенциальное электрическое поле напряженности \vec{E} , создаваемое в проводниках микроскопическими зарядами (электронами, ионами) самих проводников, не может поддерживать стационарное движение самих зарядов (ток), т.к. работа этого поля по замкнутому контуру равна нулю. Ток поддерживается неэлектростатическими силами различного происхождения (индукционного, химического, теплового и т.д.), которые действуют в источниках ЭДС и которые можно представить в виде некоторого эквивалентного непотенциального поля с напряженностью \vec{E}_{ct} , названного сторонним. Полная напряженность поля, действующая внутри проводника на заряды, в общем случае равна

$$\vec{E} = \vec{E}_{ст} + \vec{E}_{вп}$$

Соответственно закон Ома в дифференциальной форме имеет вид:

$$\rho \vec{j} = \vec{E}_{ст} + \vec{E}_{вп}$$

или

$$\vec{j} = \sigma (\vec{E}_{ст} + \vec{E}_{вп}) \quad (1)$$

Рассмотрим замкнутую цепь (рисунок 1). На участке 1-2 включен сторонний источник тока - гальванический элемент. Выделим мысленно малый

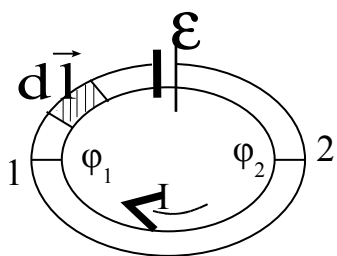


Рисунок 1

элемент тока длиной $d\vec{l}$, так чтобы на этом участке площадь поперечного сечения S проводника была постоянной, поля и плотность тока были однородными и направлены перпендикулярно к поперечному сечению проводника. Переходя к скалярной форме записи формулы (1) и, учитывая, что

$$E_{\text{кул}} = - \frac{d\varphi}{dl}, \text{ получим } \frac{I}{S} = \sigma \left(- \frac{d\varphi}{dl} + E_{\text{ст}} \right)$$

Умножим обе части равенства соответственно на $\rho dl = \frac{dl}{\sigma}$. Получим

$$I \frac{\rho dl}{S} = - d\varphi + E_{\text{ст}} dl$$

Проинтегрируем по участку проводника от 1 до 2.

$$I \int_1^2 \frac{\rho dl}{S} = \varphi_1 - \varphi_2 + \int_1^2 E_{\text{ст}} dl \quad (2)$$

Формула (2) - закон Ома в интегральной форме для участка цепи, содержащей ЭДС. Рассмотрим физический смысл всех членов, входящих в это уравнение:

$$\boxed{\frac{\rho dl}{S}} = dR - \text{сопротивление бесконечно малого участка проводника};$$

$$\boxed{\int_1^2 \frac{\rho dl}{S}} = R_{12} - \text{полное сопротивление участка 1 - 2};$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = U_{12} - \text{падение потенциала на участке 1 - 2};$$

$$\boxed{\int_1^2 E_{\text{ст}} dl} = \varepsilon - \text{ЭДС источника тока, включенного на участке 1 - 2}.$$

Как видно из последней формулы, ЭДС ε численно равна работе, совершаемой сторонними силами при перемещении по проводнику единичного положительного заряда из точки 1 в точку 2.

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{ст}}}{q_{+1}}$$

Разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2 = U_{12}$ равна работе кулоновских сил по перемещению заряда из точки 1 в точку 2.

$$U_{12} = \frac{A_{\text{кул}}}{q_{+1}}$$

Таким образом, закон Ома можно записать:

$$I R_{12} = U_{12} + \varepsilon \quad (3)$$

Формула (3) выражает **закон Ома для неоднородного участка цепи**.

Величина, численно равная работе, совершаемой кулоновскими и сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда называется падением напряжения IR .

Закон Ома для неоднородного участка цепи является самым общим видом записи закона Ома для постоянного тока. Покажем это:

а) при отсутствии сторонних сил ($\varepsilon = 0$), падение напряжения IR совпадает с разностью потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2 = U_{12}$ т.е. $IR = U$ и получается формула закона Ома для однородного участка цепи постоянного тока $I = \frac{U}{R}$, где R – сопротивление этого участка;

б) если концы проводника соединить между собой, образовав замкнутую цепь, то $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$ и $U_{12} = 0$, следовательно, $IR = \varepsilon$ т.е. получается формула закона Ома для полной цепи постоянного тока, содержащего ЭДС $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$, где r – внутреннее сопротивление источника;

в) Если цепь разомкнута, т.е. $I = 0$, то $U = \varepsilon$. Таким образом, для нахождения ЭДС источника тока, следует измерить разность потенциалов на его клеммах при разомкнутой внешней цепи. Это есть один из методов измерения ЭДС.

Измерение ЭДС с помощью вольтметра. К разомкнутым клеммам источника тока непосредственно подключается вольтметр. По вольтметру и источнику идет ток I . Согласно закону Ома для замкнутой цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R_v + r}$$

Отсюда

$$I R_v = \varepsilon - I r \quad (4)$$

где R_V - сопротивление вольтметра, r - внутреннее сопротивление источника тока, $I R_V$ - напряжение на вольтметре.

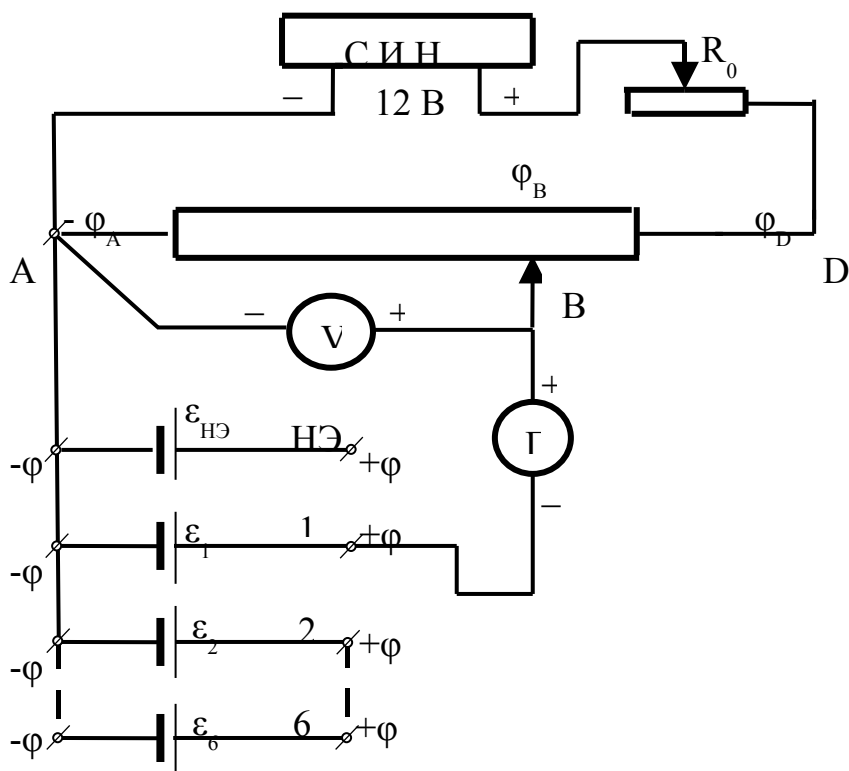
Напряжение на вольтметре меньше ЭДС ε на величину $I r$, равную падению потенциала на внутреннем сопротивлении r . Из выражения (4) следует, что при $r \ll R_V$ значение $I R_V \gg I r$, поэтому $I R_V \approx \varepsilon$.

Таким образом, напряжение на вольтметре $I R_V$ практически совпадает с ЭДС ε источника тока только тогда, когда сопротивление вольтметра будет во много раз больше внутреннего сопротивления измеряемого источника тока.

Измерение ЭДС методом компенсации. Компенсационный метод измерений основан на компенсации (уравнивании) измеряемого напряжения (ЭДС) напряжением, создаваемым на известном сопротивлении током от вспомогательного источника. Метод компенсации является по существу нулевым методом измерений. В нем результирующий эффект воздействия сравниваемых величин на прибор сравнения (нулевой прибор) доводят до нуля. Для компенсационного метода измерений характерна высокая точность, которая зависит от чувствительности нулевого прибора (гальванометра) и от точности определения величины, компенсирующей измеряемую величину.

Поясним сказанное на примере электрической схемы, примененной в лабораторной установке данной работы. Схема приведена на рисунке 2. Она составлена из стабилизированного источника напряжения (СИН) на 12 В, регулируемого сопротивления R_0 , реохорда AD, гальванометра Г, нормального элемента НЭ, выполняющего роль эталонного источника напряжения, вольтметра V, шести гальванических элементов, ЭДС которых надо измерить.

С помощью R_0 устанавливают такой ток, чтобы напряжение между концами



реохорда AD превысило ЭДС любого из (подлежащих измерению) элементов. Сам реохорд - однородная проволоочная спираль. Вдоль спирали может перемещаться ползунок В, находящийся в электрическом контакте со спиралью. При перемещении ползунка вправо происходит плавное увеличение напряжения на участке АВ. Обозначим его U_{AB} .

Суть метода компенсации в данной работе сводится к тому, что ползунок реохорда В

Рисунок 2

устанавливают в такую точку реохорда, потенциал которой φ_B совпадает с потенциалом φ_i положительной клеммы i -го измеряемого элемента. Индикатором совпадения потенциалов является отсутствие тока через гальванометр G , т.е. $I_G = 0$.

Измерение ЭДС одного из элементов, например первого, показано на рис.2. Положительную клемму первого элемента соединяют с отрицательной клеммой гальванометра. Другую клемму гальванометра вместе с положительной клеммой вольтметра соединяют с ползунком реохорда. Затем перемещением ползунка вдоль реохорда добиваются исчезновения тока в гальванометре, т.е. условия $I_G = 0$. Напряжение U_{AB} при этом будет равно ε_1 . Наступит компенсация (уравновешивание) действия источника тока на гальванометр компенсирующим напряжением U_{AB} . Равенство $U_{AB} = \varepsilon_1$ позволяет перейти от непосредственного измерения ЭДС элемента к измерению компенсирующего напряжения U_{AB} .

В лабораторной установке предусмотрены две возможности измерения U_{AB} . Первая - вольтметром V , который подключается как показано на рис. 2. Вторая - сравнение U_{AB} с ЭДС нормального элемента $\varepsilon_{НЭ}$. Для этого, при условии компенсации ЭДС ($I_G = 0$), по линейке реохорда отсчитывают длину L - расстояние от начала спирали до ее контакта с ползунком. Затем клемму «-» гальванометра соединяют с положительной клеммой нормального элемента НЭ. Перемещением ползунка опять добиваются условия компенсации. По линейке реохорда отсчитывают длину $L_{НЭ}$ - расстояние от начала спирали до нового положения ползунка. Поскольку спираль однородна, то напряжение на участке АВ пропорционально длине спирали на этом участке. Поэтому можно записать пропорцию:

$$\frac{U_{AB}}{U_{AB}^*} = \frac{L}{L_{НЭ}}$$

где U_{AB}^* - напряжение компенсации, когда подключен нормальный элемент, U_{AB} - напряжение компенсации для измеряемого элемента. Т.к. $U_{AB} = \varepsilon$,

$U_{AB}^* = \varepsilon_{НЭ}$, то можно записать:

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{НЭ}} = \frac{L}{L_{НЭ}}, \quad \text{откуда}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{НЭ} \frac{L}{L_{НЭ}} \quad (5)$$

В заключение отметим, что метод компенсации относится к числу прецизионных (точных) методов измерения. Им можно измерять ЭДС источников тока как с малым, так и с большим внутренним сопротивлением. В этом суще-

ственное преимущество его перед первым методом, применимым лишь при $r \ll R_V$.

Экспериментальная часть

Порядок выполнения работы следующий:

1 Установите ползунок реохорда в среднее положение. Клемму «+» Г соединяют с «+»V.

2 Подключите установку к сети ~ 220 В. Включите тумблер «сеть» на панели СИН.

3 Клемму «-» Г соедините с «+» НЭ. Перемещением ползунка вдоль реохорда добейтесь условия компенсации, т. е. $I_r = 0$. По шкале реохорда против показателя ползунка определите расстояние $L_{НЭ}$ от начала реохорда. Внесите $L_{НЭ}$ в таблицу.

4 Клемму «-» Г соедините с «+» 1-го элемента. Перемещением ползунка добейтесь условия $I_r = 0$. Занесите в таблицу показание вольтметра (ε_i) и значение L_i . Пункт 4 повторить для 2-го, 3-го....6-го элементов. Отключите ползунок. Затем следует найти ε_i расчетным способом по формуле (5). Результаты расчетов внести в таблицу.

5 Теперь измерим ЭДС с помощью вольтметра. Соедините клемму «+» Г с клеммой «-» Г. Клемму «+»V соедините с клеммой «+» 1-го элемента, измеряя тем самым напряжение U_{AB1} между полюсами элемента, подключенного непосредственно к вольтметру V. Занести значение в таблицу. Пункт 5 повторить для 2-го, 3-го....6-го элементов.

6 Для одной из измеренных ЭДС вычислите абсолютную и относительную погрешности для каждого метода измерения. При этом, если ε_i определяется по показаниям вольтметра, то абсолютную ошибку измерения приравняйте приборной ошибке вольтметра. Если же ε_i находится по формуле (5), то примите $\Delta L_i = \Delta L_{НЭ} = 0,1$ см. Сделайте общий вывод по работе.

Таблица

<input type="text"/> $\varepsilon_{НЭ} = 1,090$ <input type="text"/> $0,005$ В, $L_{НЭ} = \dots$ <input type="text"/> $0,1$ см						
i	1	2	3	4	5	6
L_i , см						
ε_i , В (по вольтметру)						
ε_i , В (по формуле)						
$^{10} U$, В						

Контрольные вопросы

- 1 Поясните цель и порядок выполнения работы и прокомментируйте полученные Вами результаты и сделанные выводы.
- 2 Поясните физический смысл сторонней силы и электродвижущей силы источника тока. Приведите примеры.
- 3 Почему электростатическое поле не может выступать в качестве причины сторонней силы?
- 4 Какой участок цепи называют неоднородным? Каковы причины возникновения контактной разности потенциалов на границе соприкосновения двух разнородных металлов?
- 5 Выведите закон Ома для неоднородного участка цепи. Покажите, что закон Ома для неоднородного участка цепи является самым общим выражением закона Ома для постоянного тока.
- 6 Как можно измерить ЭДС непосредственно вольтметром? Какое при этом должно соблюдаться условие? Почему?
- 7 В чем суть метода компенсации? Поясните подробнее его применение в данной работе.

Список использованных источников

- 1 **Савельев, И.В.** Курс физики: учебник / И.В. Савельев. – М.: Наука, 1992. – 304 с.
- 2 **Трофимова, Т.И.** Курс физики: учебник / Т.И. Трофимова. – М.: Высшая школа, 1990. – 478 с.
- 3 **Яворский, Б.М.** Справочное руководство по физике / Б.М. Яворский, Ю.А. Селезнев. – М.: Наука, 1989. – 576 с.